

BOLETÍN

INSTITUTO DEL MAR DEL PERÚ

ISSN 0458-7766

VOLUMEN 34, Número 2



Julio - Diciembre 2019
Callao, Perú



PERÚ

Ministerio
de la Producción

CORRIENTES MARINAS Y NIVELES DE OXÍGENO FRENTE A LA COSTA NORTE DEL PERÚ 2015-2016

MARINE CURRENTS AND OXYGEN LEVELS OFF THE NORTHERN COAST OF PERU 2015-2016

Roberto Flores¹ Ivonne Montes² Luís Vásquez¹
 Jorge Quispe¹ Noel Domínguez¹

RESUMEN

FLORES R, MONTES I, VÁSQUEZ L, QUISPE J, DOMÍNGUEZ N. 2019. Corrientes marinas y niveles de oxígeno frente a la costa norte del Perú 2015-2016. *Bol Inst Mar Perú*. 34(2): 385-391.- El presente estudio caracterizó la distribución espacio-temporal de las corrientes marinas y los niveles de oxígeno frente a Perú en el periodo 2015-2016, con el objetivo de entender los cambios dinámicos experimentados durante el desarrollo del evento cálido ocurrido. Los datos empleados fueron obtenidos durante los cruceros de evaluación de merluza (*Merluccius gayi peruanus*, Ginsburg, 1954) y los cruceros bio-oceanográficos del Programa Presupuestal 0068 El Niño realizados por el IMARPE, que incluyen los parámetros de temperatura, salinidad con los que se calcularon las corrientes geostróficas (corrientes relativas) y oxígeno disuelto hasta las 100 mn de la costa y 500 m de profundidad. Así mismo, se obtuvieron mediciones de corrientes directas a diferentes niveles de profundidad. Los resultados muestran circulación compleja con cambios diferenciados en la distribución vertical e intensidad de las corrientes superficiales (Corriente de Humboldt) y subsuperficiales (Corriente Subsuperficial Perú-Chile). Además, la distribución de oxígeno muestra cambios significativos en la distribución de la Zona de Mínima de Oxígeno y los valores mínimos alcanzados.

PALABRAS CLAVE: corrientes marinas, niveles de oxígeno, 2015-2016

ABSTRACT

FLORES R, MONTES I, VÁSQUEZ L, QUISPE J, DOMÍNGUEZ N. 2019. Marine currents and oxygen levels off the northern coast of Peru 2015-2016. *Bol Inst Mar Peru*. 34(2): 385-391.- In order to understand the changes undergone during the warm event of the 2015-2016 period, the spatial-temporal distribution of marine currents and oxygen levels off Peru were characterized. The data come from the Peruvian hake assessment cruises (*Merluccius gayi peruanus*, Ginsburg, 1954) and the bio-oceanographic cruises of the Budget Program 0068 El Niño, carried out by IMARPE, which include the parameters of temperature, salinity, used to estimate the geostrophic currents (relative currents), and dissolved oxygen up to 100 nm from the coast and a depth of 500 nm. Measurements of direct currents at different depth levels were also obtained. The results show complex circulation with differentiated changes in the vertical distribution and intensity of surface (Humboldt Current) and subsurface (Peru-Chile Undercurrent) currents. In addition, the oxygen distribution shows significant changes in the distribution of the Oxygen Minimum Zone and the minimum values reached.

KEYWORDS: marine currents, oxygen levels, 2015-2016

1. INTRODUCCIÓN

El Sistema de Corrientes frente al Perú está conformado por una circulación compleja; compuesta de flujos superficiales y subsuperficiales. Próximo a la costa, el flujo superficial dominante es la denominada Corriente Costera Peruana (CCP), también conocida como Corriente de Humboldt (CH), la cual fluye hacia el ecuador. Esta CH se caracteriza por transportar agua fría debido a los procesos de afloramiento costero y a la advección horizontal de agua fría procedente del sur. Mientras que subsuperficialmente, se encuentra la denominada Corriente Subsuperficial de Perú-Chile (CSPC), en inglés (PCUC), la que constituye la fuente principal para el afloramiento costero (HUYER *et al.*, 1987) que, a su vez, es responsable de la alta

1. INTRODUCTION

The system of currents off Peru is complex. It consists of surface and subsurface flows. Near the coast, the dominating surface flow is called Peruvian Coastal Current (PCC) or Humboldt Current (HC) that flows towards the equator, carrying cold water, through the processes of upwelling and horizontal advection of cold water from the south. The Peru-Chile Undercurrent (PCUC), at surface level, constitutes the main source for the coastal upwelling (HUYER *et al.*, 1987), being responsible for the high marine productivity. The PCUC owes its existence to the trade winds favorable to the upwelling which

1 IMARPE, DGIOCC. Esquina Gamarra y Gral. Valle s/n, Callao, Perú. rflores@imarpe.gob.pe

2 Instituto Geofísico del Perú

productividad marina al proporcionar aguas frías ricas en nutrientes hacia la superficie. Esta corriente, principalmente, debe su existencia a los vientos alisios favorables para el afloramiento los cuales presentan un gradiente de presión a lo largo de la costa hacia el sur (McCREARY, 1981; McCREARY *et al.*, 1987). De igual manera la CSPC recibe alimentación suplementaria por parte de las corrientes subsuperficiales que conforman el sistema de corrientes ecuatoriales (Corriente Ecuatorial Subsuperficial - CES) y la Contracorriente Subsuperficial primaria y secundaria (pSSCC, sSSCC) que alcanza alrededor del 30% del flujo total de la CSPC (MONTES *et al.*, 2010).

Debido a la cercanía con la zona ecuatorial, el Sistema de Corrientes frente al Perú está fuertemente influenciado por la variabilidad interanual de El Niño-Oscilación del Sur (ENSO) en sus diferentes fases de calentamiento (TAKAHASHI *et al.*, 2011; DEWITTE *et al.*, 2012) y por la propagación de ondas Kelvin ecuatoriales (MOSQUERA-VÁSQUEZ *et al.*, 2013; ILLIG *et al.*, 2014); ambos afectan la productividad biológica marina (CASTILLO *et al.*, 2001) y el clima de las Américas (LAGOS *et al.*, 2008; BOURREL *et al.*, 2014). Asimismo, la alta productividad marina junto con la lenta circulación permite que frente a Perú se encuentre la denominada Zona de Mínima de Oxígeno (OMZ), la cual representa una barrera respiratoria para especies marinas y la influencia del ciclo de nutrientes marino (STRAMMA *et al.*, 2010).

La distribución de la merluza en la costa de Perú ha experimentado cambios drásticos en la estructura demográfica de la biomasa disponible por razones ambientales (GUEVARA-CARRASCO, 2004) y la reducción de las longitudes y cambios estructurales de la población de la merluza coinciden con los eventos El Niño (WOSNITZA-MENDO *et al.*, 2009). Por tanto, el presente estudio trata de caracterizar la distribución espacio-temporal de la circulación marina frente a Perú durante los años 2015 y 2016, con el fin de entender los cambios dinámicos experimentados durante el desarrollo de eventos cálidos ocurridos.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

Los datos empleados en el presente estudio fueron obtenidos durante los cruceros de recursos demersales realizados en los años 2015 y 2016 (IMARPE, 2015, 2016) y los cruceros bio-oceanográficos del Programa Presupuestal 0068 El Niño (PPR 0068, 2015 y 2016).

La recolección de datos incluye perfiles de temperatura y salinidad medidos hasta 500 m de profundidad mediante el perfilador de Conductividad, Temperatura

and depth pressure gradients along the coast towards the south (McCREARY, 1981; McCREARY *et al.*, 1987); it also receives supplementary feeding from the subsurface currents that make up the equatorial current system (Equatorial Undercurrent - EUC) and the primary and secondary Subsurface Countercurrent (pSSCC, sSSCC) that reaches around 30% of the total flow of the PCUC (MONTES *et al.*, 2010)

The current system off Peru is strongly influenced, given its proximity to the equatorial zone, by the inter-annual variability of El Niño-Southern Oscillation (ENSO) in its different warming phases (TAKAHASHI *et al.*, 2011; DEWITTE *et al.*, 2012) and by the propagation of equatorial Kelvin waves (MOSQUERA-VÁSQUEZ *et al.*, 2013; ILLIG *et al.*, 2014); both affecting marine biological productivity (CASTILLO *et al.*, 2001) and the weather of the Americas (LAGOS *et al.*, 2008; BOURREL *et al.*, 2014). Likewise, the high marine productivity together with the slow circulation allows the so-called Oxygen Minimum Zone (OMZ) to be found off Peru, which represents a respiratory barrier for marine species and the influence of the marine nutrient cycle (STRAMMA *et al.*, 2010).

The hake distribution in the Peruvian coast has undergone drastic changes in the demographic structure of the available biomass for environmental reasons (GUEVARA-CARRASCO, 2004) and the reduction of the lengths and structural changes of the hake population coincide with El Niño events (WOSNITZA-MENDO *et al.*, 2009). Therefore, this study tries to characterize the spatial-temporal distribution of the marine circulation off Peru in 2015 and 2016, to understand the dynamic changes experienced during the development of warm events.

2. MATERIAL AND METHODS

The data used in this study were obtained during the demersal resource cruises carried out in 2015 and 2016 (IMARPE, 2015, 2016) and the bio-oceanographic cruises of the Budget Program 0068 El Niño (PPR 0068, 2015 and 2016).

The data collection includes temperature and salinity profiles measured up to a depth of 500 m by using the Conductivity, Temperature, and Depth (CTD) profiler off Paita and Chicama,

tura y Profundidad (CTD) frente a Paita y Chicama que permite estimar los campos de densidad y las corrientes geostroficas. En el cálculo de corrientes relativas se emplea como nivel de referencia (nivel de no movimiento) 500 m de profundidad, hallándose valores de mayor intensidad en relación a las mediciones de corrientes directas obtenidas. Adicionalmente, se analizó datos de corrientes directas obtenidas con el correntómetro *Acoustic Doppler Current Profiler-ADCP* instalado en el BIC Olaya. Las secciones frente a Paita y Chicama alcanzaron 100 mn con frecuencia mensual. Estas mediciones directas obtenidas para la columna de agua se procesaron a distintos niveles de profundidad. Los datos incluyen mediciones de oxígeno en la columna de agua hasta 500 m de profundidad. Para los fines de este estudio, solo se muestran las características observadas durante enero, abril, mayo y junio del 2015 y enero, marzo y abril del 2016.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las corrientes geostroficas durante el 2015, en la sección frente a Paita, muestran flujos distribuidos en tres capas muy marcadas respecto a sus direcciones (Fig. 1). En superficie, el flujo superficial dirigido hacia el ecuador (Corriente de Humboldt) está presente en todas las secciones, siendo más intenso en mayo. A nivel subsuperficial, el flujo se dirige hacia el polo teniendo doble núcleo durante todo el año; aunque exhibiendo una extensión e intensidad diferente. Dichos flujos alcanzan la superficie en enero y abril, siendo más intensos en abril; ambos pueden estar asociados a la CSPC y a la Contra Corriente Subsoperficial Peruana Chilena (CCSPC) (HAYER *et al.*, 1991), respectivamente. Aparentemente, estos flujos estarían influenciando la abundancia y distribución del recurso merluza (IMARPE 2015, 2016). Entre 100 y 300 m se observó una corriente hacia el ecuador muy marcada, la cual podría estar relacionada con la Corriente Costera Profunda Peruano-Chilena (CCPPC) que muestra ser más intensa en mayo.

Se observó una columna de agua bien oxigenada en la parte superior seguida de una ZMO que alcanza valores de hasta 0,1 mL.L⁻¹. Durante abril, sobre 300 m de profundidad, se detectó una columna de agua más oxigenada, la que estuvo acompañada de flujos subsuperficiales más intensas hacia el polo. Respecto a la ZMO (capas menores a 0,5 mL.L⁻¹) su mayor profundización se alcanzó en abril mientras que, en julio la concentración decayó. Durante los meses de enero y julio los flujos hacia el sur mostraron condiciones débiles y la zona de mínima de oxígeno se presentó menos profunda (Fig. 1).

which allows the estimation of density fields and geostrophic currents. In the estimation of relative currents, a depth of 500 m is used as a reference level (non-movement level), finding values of greater intensity in relation to the direct current measurements obtained. In addition, direct current data obtained with the Acoustic Doppler Current Profiler-ADCP current meter installed in the R/V Olaya was analyzed. The sections off Paita and Chicama reached 100 nm with monthly frequency. These direct measurements obtained for the water column were processed at different depth levels. The data include oxygen measurements in the water column up to a depth of 500 m. For the purposes of this study, only the characteristics observed in January, April, May, and June 2015 and January, March, and April 2016 are shown.

3. RESULTS AND DISCUSSION

In 2015, the geostrophic currents in the section off Paita show a flow distributed in three very marked layers with respect to their directions (Fig. 1). The surface flow directed towards the equator (Humboldt Current) is present in all sections, being more intense in May. At subsurface level, the flow is directed towards the pole having a double nucleus throughout the year; although exhibiting a different extension and intensity. These flows reach the surface in January and April, being more intense in April; both can be associated with the PCUC and the Peru-Chile Countercurrent (PCCC) (HAYER *et al.*, 1991), respectively. Apparently, these flows are influencing the abundance and distribution of the Peruvian hake resource (IMARPE 2015, 2016). Between 100 and 300 m, a very noticeable current towards the equator was observed, which could be related to the deep Peru-Chile Coastal Current (PCCoastalC) that showed to be more intense in May.

A column of well-oxygenated water in the upper part was observed followed by an OMZ reaching values of up to 0.1 mL.L⁻¹. In April, over a depth of 300 m, a more oxygenated water column was detected, which was accompanied by more intense subsurface flows towards the pole. The oxygen minimum zone-OMZ (layer less than 0.5 mL.L⁻¹) reached its greatest depth in April; in July the concentration declined. In January and July, the flows towards the south showed weak conditions and the OMZ was less deep (Fig. 1). This same

Esta misma configuración de los flujos geostróficos y la profundidad de la capa mínima de oxígeno se observó en la sección frente a Chicama (Fig. 2).

configuration of the geostrophic flows and the depth of the oxygen minimum layer was observed in the section off Chicama (Fig. 2).

A nivel vertical, las corrientes marinas obtenidas con el ADCP en toda la columna de agua en la sección frente a Paita, ponen de manifiesto que las mayores densidades de flujos se dan en la zona entre 30-50 mn de la costa en las capas de 32 y 64 m de profundidad, en tanto que, fuera de las 60 mn de la costa, estos flujos se ubican en la capa de 176 metros de profundidad (Fig. 3). Estas observaciones han sido corroboradas con los cálculos geostróficos obtenidos (Figs. 1, 2).

The marine currents obtained with the ADCP in the entire water column in the section off Paita show that the highest flow densities occur between 30-50 nm from the coast in the 32 and 64 m deep layers, whereas, outside the 60 nm offshore, these flows are located in the 176 m deep layer (Fig. 3). These observations have been corroborated with the geostrophic calculations obtained (Figs. 1, 2).

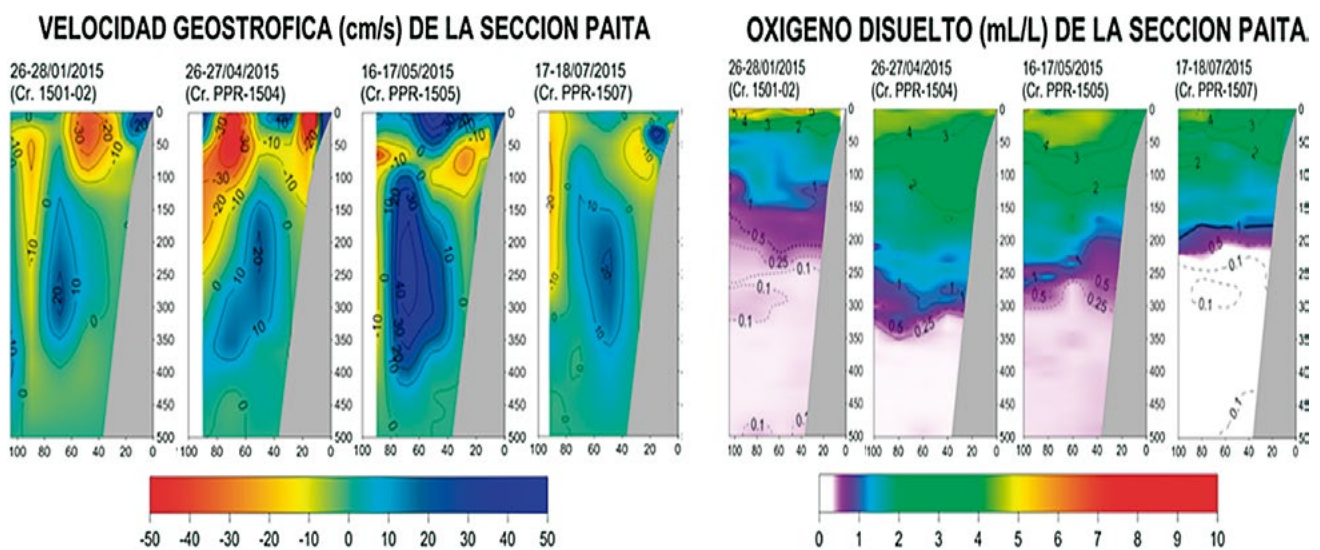


Figura 1.- Estructura vertical de las corrientes geostróficas y distribución de oxígeno frente a la sección Paita durante el 2015

Figure 1. Vertical structure of the geostrophic currents and oxygen distribution off Paita section in 2015

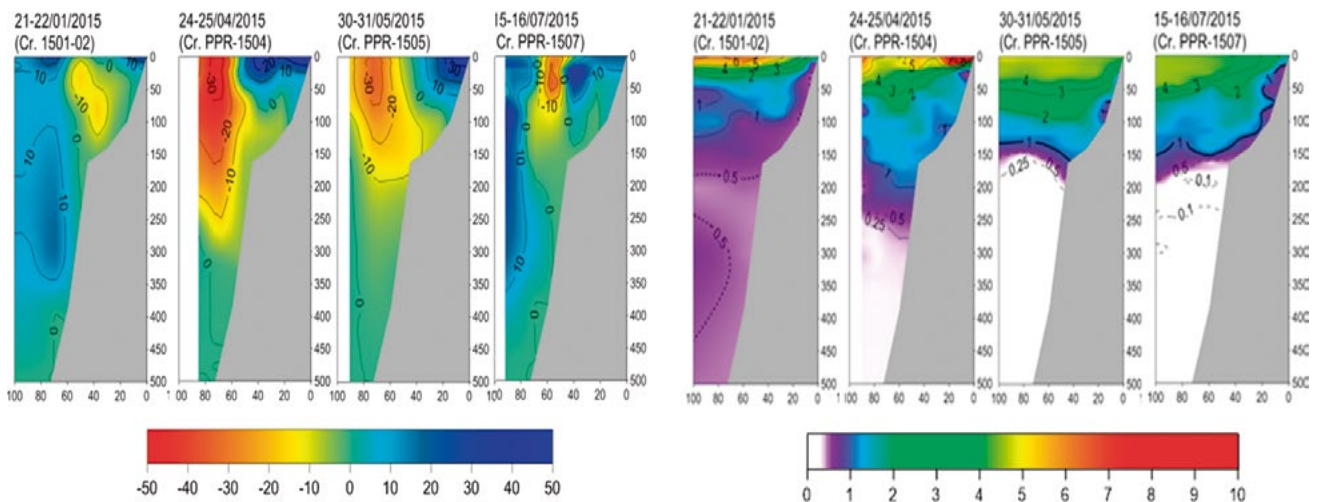


Figura 2.- Estructura vertical de las corrientes geostróficas y distribución de oxígeno frente a la sección Chicama durante el 2015

Figure 2. Vertical structure of the geostrophic currents and oxygen distribution off Chicama section in 2015

Durante el año 2016, la sección vertical frente a Paita, de acuerdo a los cálculos geostroficados, mostraron que, en los primeros meses, predominaron flujos subsuperficiales hacia el norte asociados a la Corriente Peruana principalmente en enero y abril; en tanto que en marzo se observaron flujos subsuperficiales hacia el sur al borde de la plataforma con velocidades de hasta 20 cm/s alrededor de las 80 mn; y otro flujo también hacia el sur pero más superficial asociado a la CCSPC con velocidades relativas del orden de 30 cm/s se observó por fuera de las 60 mn. Mientras que, la distribución de oxígeno disuelto en la columna de agua en esta sección presentó en marzo mayor profundización de la mínima de oxígeno que se situó alrededor de 200 m de profundidad, manteniendo una estructura vertical homogénea y oxigenada (Fig. 4).

In the vertical section of Paita, according to geostrophic calculations in the first months (mainly January and April) of 2016, subsurface flows to the north associated with the Peruvian Current predominated; in March, subsurface flows to the south of the shelf break were observed with speeds of up to 20 cm/s at 80 m; and another southward but more superficial flow associated with the PCCC with relative speeds of the order of 30 cm/s was observed outside 60 m. Meanwhile, the distribution of dissolved oxygen in the water column in this section presented, in March, greater deepening of the minimum oxygen that was around 200 m deep, maintaining a homogeneous and oxygenated vertical structure (Fig. 4).

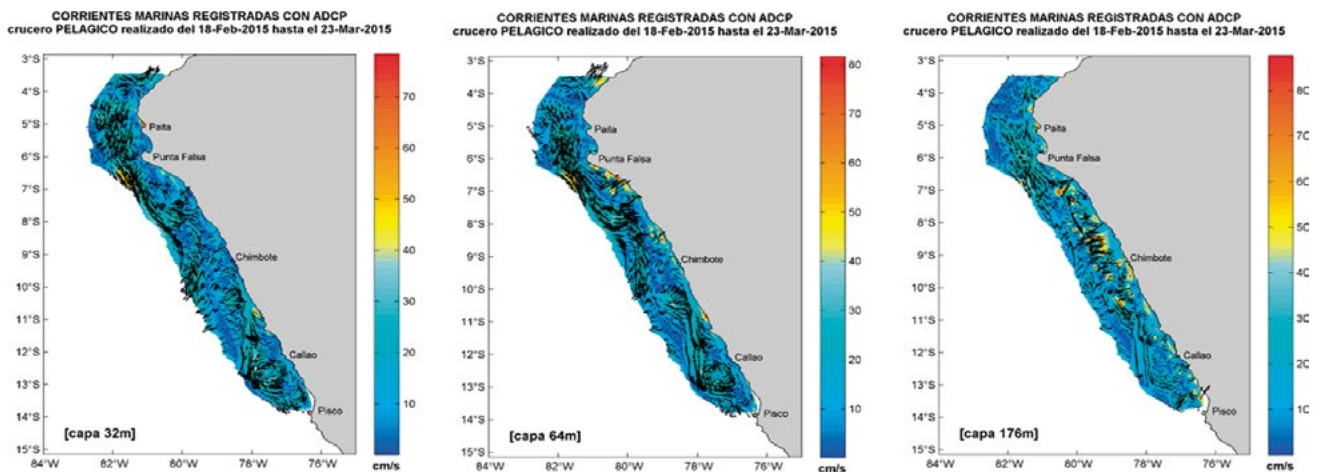


Figura 3.- Distribución horizontal de las corrientes marinas obtenidas con ADCP a 32, 64 y 176 m de profundidad. Datos del Crucero de evaluación de recursos demersales 1506-07 (otoño). Los vectores muestran mayor intensidad en la zona norte frente a la sección Paita

Figure 3. Horizontal distribution of sea currents obtained with ADCP at depths of 32, 64, and 176 m. Data from the demersal resource assessment cruise 1506-07 (autumn). Vectors show greater intensity in the northern zone off the Paita section

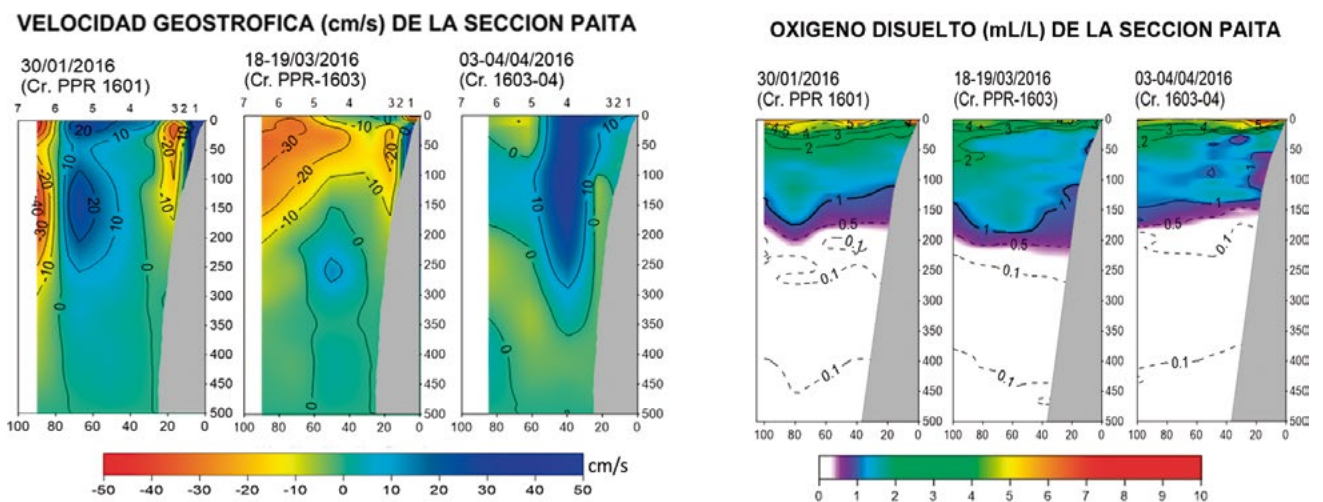


Figura 4.- Estructura vertical de las corrientes geostroficadas y distribución de oxígeno frente a la sección Paita durante el 2016

Figure 4. Vertical structure of geostrophic currents and oxygen distribution off Paita section in 2016

Cabe mencionar que en los meses siguientes hubo un decaimiento de estos parámetros ya que las condiciones oceanográficas volvieron a sus condiciones casi normales.

En general, durante los cruceros de evaluación de recursos demersales realizados en los años 2014, 2015 y 2016, se encontró principalmente un ambiente oxigenado (Fig. 5) en el área dentro de la plataforma continental al norte de Pimentel, con valores de oxígeno disuelto > 2 mL/L (Cr. 1405-06) y > 1,5 mL/L (Cr. 1505-06 y Cr. 1605-06). Esta característica se debe a la influencia de la CSPC y de la CCSPC, corrientes que normalmente se intensifican en otoño y aún más en periodos El Niño, que permite mayor ventilación de las capas subsuperficiales como lo ocurrido durante el año 2014 asociado a un Niño débil (ENFEN, 2014) y en los años 2015-2016 asociados a un Niño fuerte (ENFEN, 2015, 2016).

It is noteworthy that, in the following months, there was a decline in these parameters as oceanographic conditions returned to their near-normal conditions.

In 2014, 2015, and 2016, an oxygenated environment (Fig. 5) was found mainly in the area within the shelf break north of Pimentel, with dissolved oxygen values > 2 mL/L (Cr. 1405-06) and > 1,5 mL/L (Cr. 1505-06 and Cr. 1605-06). This characteristic is caused by the influence of the PCUCC and the PCCC, currents that normally intensify in autumn and even more in El Niño periods, which allows greater ventilation of the subsurface layers as occurred in 2014, associated with a weak El Niño (ENFEN, 2014) and in 2015-2016 associated with a strong El Niño event (ENFEN, 2014).

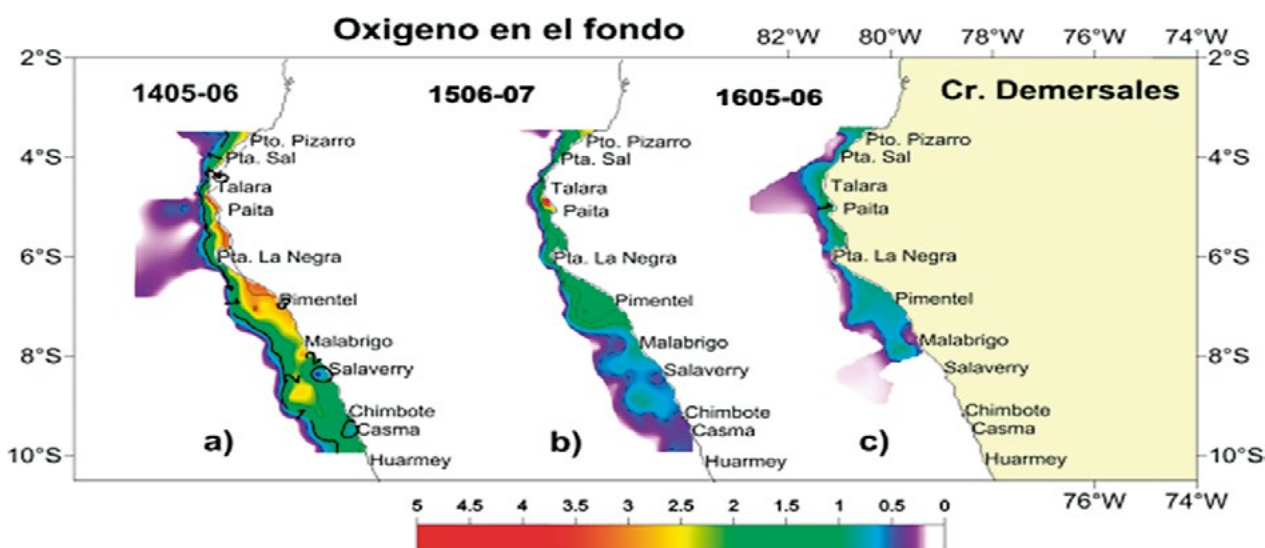


Figura 5.- Distribución del oxígeno (mL/L) durante los Cr. Demersales de los años 2014, 2015 y 2016

Figure 5. Oxygen distribution (mL/L) during the Demersal Cruises of 2014, 2015, and 2016

REFERENCIAS / REFERENCES

BOURREL L, RAU P, DEWITTE B, LABAT D, LAVADO W, COUTAUD A, VERA A, ALVARADO A, ORDOÑEZ J. 2014. Low-frequency modulation and trend of the relationship between precipitation and ENSO along the northern to center Peruvian Pacific coast. *Hydrological processes*, 6, 1252 - 1266. doi: 10.1002/hyp.10247.

CASTILLO R, SAMAMÉ M, FERNÁNDEZ F. 2001. Distribución y estructura de la población de merluza peruana (*Merluccius gayi peruanus*). http://www.imarpe.gob.pe/informes/info_merluza/distribucion.html

DEWITTE B, VAZQUEZ-CUERVO J, GOUBANOVA K, ILLIG S, TAKAHASHI K, CAMBON G, PURCA S, CORREA D, GUTIÉRREZ D, SIFEDDINE A, ORTLIEB L. 2012. Change in El Niño flavors over 1958–2008: Implications for the long-term

trend of the upwelling off Peru, *Deep Sea Res. Part II*, 77–80: 143 - 156, doi:10.1016/j.dsr2.2012.04.011.

ENFEN. http://www.imarpe.pe/imarpe/lista.php?id_seccion=1016602000000000000000

GUEVARA-CARRASCO R. 2004. Sobrepesca de la merluza peruana: lecciones mal entendidas. *Bol Inst Mar Perú*. 21(1,2): 27 - 32.

HAYER A, KNOLL M, PALUSZKIEWICKZ T, SMITH R. 1991. The Peru undercurrent: a study in variability. *Deep Sea Research*. 38 (1): 247 - 271.

HUYER A, SMITH R L, PALUSZKIEWICZ T. 1987. Coastal upwelling off Peru during normal and El Niño times. *J. Geophys. Res.* 92: 14297 - 14307.

ILLIG S, DEWITTE B, GOUBANOVA K, CAMBON G, BOUCHARÉL J, MONETTI F, ROMERO C, PURCA S, FLORES R. 2014. Forcing mechanisms of intraseasonal SST variability off central

- Peru in 2000-2008. *J. Geophys. Res.-Oceans*. 119(6): 3548 - 3573, doi: 10.1002/2013HC009779.
- IMARPE. 2015. Informe de Crucero de Evaluación de merluza en otoño del 2015. Cr.1506-07 BIC Humboldt.
- IMARPE. 2016. Informe de crucero de evaluación de merluza de otoño del 2016. Cr.1605-06 BIC Humboldt.
- LAGOS P, SILVA Y, NICKL E, MOSQUERA K. 2008. El Niño-related precipitation variability in Peru, *Advances in Geosciences*, doi: 10.5194/adgeo-14-231-2008.
- MCCREARY J P. 1981. A linear stratified ocean model of the coastal undercurrent. *Phil. Trans. R. Soc. London. Ser. A*, 302: 385 - 413.
- MCCREARY J P, KUDU P K, CHAO S Y. 1987. On the dynamics of the California Current System. *J. Mar. Res.* 45 (1): 1 - 32.
- MONTES I, COLAS F, CAPET X, SCHNEIDER W. 2010. On the pathways of the equatorial subsurface currents in the Eastern equatorial Pacific and their contributions to the Peru- Chile Undercurrents. *J. Geophys. Res.* 115.
- MOSQUERA VÁSQUEZ K, DEWITTE B, ILLIG S, TAKAHASHI K, GARRIC G. 2013. The 2002-03 El Niño: Equatorial waves sequence and their impact on sea surface temperature. *Journal of Geophysical Research-Oceans*. doi: 10.1029/2012JC008551.
- STRAMMA, L, SCHMIDTKO S, LEVIN LA, JOHNSON GC. 2010. Ocean oxygen minima expansions and their biological impacts. *Deep-Sea Res. Part I-Oceanographic Res. Papers*. 57: 587 - 595.
- TAKAHASHI K, MONTECINOS A, GOUBANOVA K, DEWITTE B. 2011. ENSO regimes: Reinterpreting the canonical ENSO and El Niño Modoki. *Geophysical Research Letters*. 38, L10704. doi: 10.1029/2011GL047364.
- WOSNITZA-MENDO C, BALLÓN M, BENITES C, GUEVARA-CARRASCO R. 2009. Cambios en el área de distribución de la merluza peruana: efecto de la pesquería y El Niño. III Panel internacional de expertos de evaluación de la merluza peruana. *Bol Inst Mar Perú*. 24 (1 y 2): 35 - 44.